

مهندسی مایکروویو پیشرفته

مبانی خطوط انتقال صفحه‌ای و کاربرد آنها

تألیف :

دکتر ایاز قربانی

(دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

دکتر غلامرضا مرادی

(دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

سید مصطفی نرگسی خرم آباد

(پژوهشگر آزمایشگاه رادار دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

نیاز دانش



سرشناسه	: قربانی، ایاز، ۱۳۳۷
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی مایکروویو پیشرفته: مبانی خطوط انتقال صفحه‌ای و کاربرد آن‌ها
مشخصات نشر	: تالیف: ایاز قربانی، غلامرضا مرادی، سیدمصطفی نرگسی خرم‌آباد.
مشخصات ظاهری	: تهران، نیاز دانش، ۱۳۹۲.
شابک	: ۴۰۸ ص، مصور، نمودار.
وضعیت فهرست‌نویسی	: ۲۲۵۰۰۰ ریال
یادداشت	: فیبا
یادداشت	: واژه‌نامه.
موضوع	: کتابنامه.
موضوع	: مایکروویو.
موضوع	: مدارهای مایکروویو
موضوع	: ارتباط مایکروویو
موضوع	: مایکروویو - مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
شناسه افزوده	: مرادی، غلامرضا، ۱۳۴۵
شناسه افزوده	: نرگسی خرم‌آباد، سیدمصطفی، ۱۳۶۳
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۲ م ۹۴۷۸۷۶ TK
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۸۱۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۳۶۵۸۹۷

نام کتاب	: مهندسی مایکروویو پیشرفته مبانی خطوط انتقال صفحه‌ای و کاربرد آن‌ها
مؤلفان	: دکتر ایاز قربانی (دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر) دکتر غلامرضا مرادی (دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر) سید مصطفی نرگسی خرم‌آباد (دانشیار دانشگاه رادار دانشگاه صنعتی امیرکبیر)
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
طراح جلد	: کیانا آراین
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: واحد تولید انتشارات نیاز دانش
لیتوگرافی / چاپ	: گنجینه
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۳
شمارگان	: ۵۰۰
قیمت	: ۲۲۵۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-6481-63-0

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۱-۶۳-۰

هرگونه چاپ و تکتیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه‌ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه‌ی کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب بند ۵ از ماده‌ی ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

تماس با انتشارات: ۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲-۲۱۰۶۷۰۹

پیش گفتار

مهندسی مایکروویو با پیشرفت تکنولوژی مخابرات و نیاز روزافزون به سرعت انتقال و پهنای باند بالا و ابعاد کوچک، در نیم قرن اخیر توسعه شگرفی یافته است. کتاب حاضر حاصل چندین سال تلاش، تحقیق و تدریس دروس مایکروویو I و II توسط مولفین می باشد. این کتاب در ادامه کتاب مهندسی مایکروویو برای مطالعه دانشجویان تحصیلات تکمیلی مهندسی مخابرات و درس مایکروویو پیشرفته تدوین شده است.

در فصل اول این کتاب آنالیز، تحلیل و ستر خطوط انتقال هم صفحه شامل خطوط ریزنوار¹، خط نواری، خطوط انتقال شکافدار و خطوط انتقال موجبر هم صفحه مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین در این فصل به چگونگی محاسبه پارامترهای مختلف خطوط فوق الذکر به کمک روش های استاتیک، روش های شبه استاتیک، روش های تجربی و روش تمام موج، اشاره خواهد شد.

خطوط تزویج شده ریزنوار و خط نواری کاربرد زیادی در طراحی و ساخت تزویج کننده های جهت دار، میکسرها، تقویت کننده ها، تغییر فاز دهنده ها، تضعیف کننده ها، مدولاتورها، فیلترها، خط تأخیر دهنده ها و مدارات تطبیق کننده امپدانس دارند. از اینرو در فصل دوم این کتاب چگونگی آنالیز و ستر خطوط ریزنوار و خط نواری، خطوط انتقال شکافدار و خطوط انتقال موجبر هم صفحه تزویج شده مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

در فصل سوم وابستگی فرکانسی پارامترهای مختلف خطوط انتقال صفحه ای از جمله ضریب دی الکتریک، امپدانس مشخصه و پهنای خط آنالیز و تحلیل شده است. در این فصل ابتدا دلیل وابستگی فرکانسی پارامترهای خطوط انتقال که دارای مولفه طولی انتشار هستند بررسی می شود و سپس نحوه تحلیل این وابستگی برای خطوط ریزنوار بیان می گردد.

در فصل چهارم تضعیف، که یکی از موانع اصلی در عملکرد صحیح خطوط انتقال می باشد، مورد بررسی قرار می گیرد. در حالت کلی دو نوع تضعیف در خطوط انتقال وجود دارد، گروه اول تضعیف عایقی و گروه دوم تضعیف هدایت نامیده می شود که در این فصل تضعیف های فوق الذکر در رابطه با خطوط ریزنوار، خط نواری و موجبر هم صفحه مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین در این فصل اشاره ای کوتاه به امواج سطحی، امواج تشعشعی و چگونگی حذف آن ها خواهیم داشت.

در فصل پنجم مدل سازی عدم پیوستگی در مدارات ریزنوار مورد مطالعه قرار گرفته است. در هر مداری که جنبه عملی داشته باشد، تعداد زیادی از ناپیوستگی های به چشم می خورد و بنابراین در فرکانس های بالا لازم و ضروری خواهد بود که مدل دقیقی از رفتار فرکانسی پارامترهای مختلف این ناپیوستگی ها داشته باشیم که این موضوع در واقع در طراحی به کمک کامپیوتر برای آنالیز و طراحی مدارات مجتمع مایکروویو بسیار مهم خواهد بود.

فصل ششم راجع به تقسیم کننده توان است. تقسیم کننده های توان در فرکانس های مختلف نقش عمده ای در رساندن سیگنال به بخش های مختلف یک سیستم ایفا می نمایند. در فرکانس های پایین

¹ Microstrip

برای تقسیم توان از عناصر مقاومتی استفاده می‌شود، در حالی که در فرکانس‌های بالاتر از خطوط انتقال، کابل‌های هم‌محور، موجبرها و خطوط انتقال صفحه‌ای کمک گرفته می‌شود. بنابراین در این فصل علاوه بر مروری بر انواع تقسیم‌کننده‌های توان، تقسیم‌کننده توان ویلکینسون، هابیرید، تزویج موازی و لنج مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

در فصل هفتم فیلترهای مورد استفاده در باند فرکانسی مایکروویو مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. چنانکه می‌دانیم در فرکانس‌های بالا عناصر فشرده به عناصر توزیعی تغییر می‌یابند. از اینرو در این فصل علاوه بر بررسی فیلترهای پایین‌گذر مینا، چگونگی تبدیل فیلتر پایین‌گذر به میان‌گذر و بالاگذر ارائه خواهد شد. همچنین در این فصل تبدیل ریچارد و کرودا و موارد استفاده آن‌ها بررسی شده و نهایتاً طراحی فیلترهای پایین‌گذر، بالاگذر، میان‌گذر و میان‌نگذر ریزنوار به کمک مبدل‌های ادمیتانس و امپدانس مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

فصل هشتم به مدار پرکاربرد تغییردهنده فاز اختصاص دارد. این مدار در آنتن‌های آرایه فازی کاربرد فراوانی دارد. در ترکیب‌کننده‌های توان، وجود تغییردهنده فاز سبب می‌شود که خروجی مدارات مختلف با فاز مناسبی با هم جمع شوند و این امر اثر سازنده‌ای بر تقویت توان دارد. در این فصل، ابتدا ساختارهای ساده تغییردهنده فاز معرفی می‌شوند و سپس تغییردهنده فاز خط سوییچ شونده و تغییردهنده فاز شیفرن معرفی می‌شود. همچنین شبیه‌سازی، روش ساخت و نتایج اندازه‌گیری نمونه‌هایی از این تغییردهنده فاز ارائه می‌شود.

امید است این کتاب بخشی از نیاز دانشجویان و علاقمندان حوزه مخابرات میدان در زمینه مایکروویو را برآورده سازد. با توجه به این که هیچ اثری از کاستی مبرا نیست از اینرو مولفین را از نظرات و انتقادات سازنده خود بی‌بهره نگذارید.

در پایان بر خود می‌دانیم از تمام عزیزانی که در گردآوری و تدوین کتاب همکاری داشته‌اند اعم از دانشجویان تحصیلات تکمیلی، فارغ‌التحصیلان و محققین آزمایشگاه تحقیقاتی سیستم‌های راداری دانشگاه صنعتی امیرکبیر به خصوص خانم مهندس ناهید اصائلو، خانم مهندس تهمینه نیرومند و خانم مهندس ساریسا کاوه نسب تشکر و قدردانی نماییم و برای ایشان توفیق روز افزون از درگاه خداوند متعال خواستاریم.

ایاز قربانی

ghorbani@aut.ac.ir

غلامرضا مرادی

ghmoradi@aut.ac.ir

سید مصطفی نورگی

mostafanargesi@aut.ac.ir

فهرست مطالب

فصل ۱

تحلیل خطوط انتقال

مقدمه	۱۵
۱-۱ انواع خطوط انتقال و پارامترهای مهم آنها	۱۵
۱-۱-۱ کابل های هم محور	۱۵
۱-۱-۱-۱ پارامترهای اولیه کابل هم محور	۱۶
۱-۱-۱-۲ چگونگی محاسبه مدهای مرتبه بالا در خطوط انتقال هم محور	۱۷
۲-۱-۱ موجبرهای دایروی و مستطیلی	۲۰
۳-۱-۱ خطوط مسطح	۲۰
۴-۱-۱ فضای آزاد	۲۱
۲-۱ مدهای خطوط انتقال	۲۲
۱-۲-۱ مد TEM	۲۲
۲-۲-۱ مد TE	۲۲
۳-۲-۱ مد TM	۲۳
۴-۲-۱ مد هایبرید HE	۲۳
۳-۱ امپدانس ورودی خط انتقال	۲۳
۴-۱ طبقه بندی خطوط انتقال	۲۶
۱-۴-۱ خط بدون افت	۲۶
۲-۴-۱ خطوط کم افت	۲۶
۳-۴-۱ خطوط فرکانس پایین	۲۷
۴-۴-۱ خطوط فرکانس بالا	۲۸
۵-۱ ضریب انعکاس در خطوط انتقال	۲۸
۶-۱ پارامترهای پراکندگی	۳۱
۷-۱ منبع فعال و توان قابل دسترس	۳۵
۸-۱ پارامترهای ABCD	۳۶
۹-۱ مدل T و π یک خط انتقال بدون افت	۳۹
۱-۹-۱ مدل π و T خط امپدانس بال	۴۱
۲-۹-۱ مدل π و T خط امپدانس پایین	۴۱

۴۱	۱۰-۱ ریزنوآار.....
۴۳	۱-۱۰-۱ تحلیل و آنالیز خطوط ریزنوآار.....
۴۳	۱-۱۰-۱ اثبات وجود مؤلفه طولی در ریزنوآار.....
۴۵	۲-۱۰-۱ روش‌های متداول برای تحلیل خطوط ریزنوآار.....
۴۶	۱-۱۰-۱-۱ تحلیل شبه ساکن خطوط ریزنوآار.....
۵۱	۱-۱۰-۱-۲ تبدیل همدیس در محاسبه خط ریزنوآار.....
۵۵	۲-۱۰-۱ روابط مورد استفاده در آنالیز و سنتز ریزنوآار.....
۵۶	۱-۱۰-۱-۲ روابط تجربی برای آنالیز و سنتز خطوط ریزنوآار.....
۵۶	۱-۱۰-۱-۱-۱ روابط آنالیز.....
۵۷	۱-۱۰-۱-۲-۱ روابط سنتز.....
۵۹	۲-۱۰-۱ تعیین پارامترهای خطوط ریزنوآار به کمک روش‌های عددی.....
۶۰	۱-۱۰-۱-۲ روش عناصر محدود.....
۶۰	۱-۱۰-۱-۲-۱ روش ممان.....
۶۲	۱-۱۰-۱-۳ روش تفاضل جزئی.....
۶۳	۱-۱۰-۱-۳-۱ الگوریتم روش تفاضل محدود.....
۶۳	۱-۱۰-۱-۳-۲ معادلات بیضوی دوبعدی.....
۶۴	۱-۱۰-۱-۳-۳ فرم بندی توابع چند متغیر.....
۶۴	۱-۱۰-۱-۳-۴ حل معادلات بیضوی به روش تفاضل‌های محدود.....
۶۵	۱-۱۰-۱-۳-۵ فرم تفاضل محدود برای معادله لاپلاس.....
۶۸	۱-۱۰-۱-۳-۶ یکارگیری روش FD در مسائلی که دارای مرزهای انشعاب دار هستند.....
۶۹	۱-۱۰-۱-۳-۷ فرم تفاضل محدود معادله لاپلاس در مختصات استوانه‌ای.....
۷۰	۱-۱۰-۱-۳-۸ ساختارهای ناهمگن.....
۷۲	۱-۱۰-۱-۹ روش‌های افزایش همگرایی در جواب‌های معادلات تفاضل محدود.....
۷۷	۱-۱۰-۱ خط نواری.....
۸۱	۱-۱۰-۱ خطوط موجبر هم صفحه.....
۸۴	مسائل حل شده.....
۸۷	مسائل حل نشده.....
۸۸	مراجع.....

فصل ۲

روش‌های آنالیز و سنتز خطوط ریز نوآار و خط نواری تزویج شده

۸۹	مقدمه.....
۸۹	۲-۱ روش‌های موجود برای آنالیز و سنتز خطوط ریزنوآار تزویج شده.....
۹۱	۲-۱-۱ محاسبه پارامترهای خط تزویج شده ریزنوآار با استفاده از ضرایب تزویج.....
۹۳	۲-۱-۲ روش مبتنی بر خازن‌های استاتیک (روش تحلیل Bryant-Weiss).....
۹۵	۲-۱-۳ روش محاسبه خازن مد فرد و زوج.....
۹۷	۲-۱-۴ محاسبه پارامتر خط ریزنوآار تزویج شده با استفاده از امپدانس خطوط تکی (روش اخترازا).....
۱۰۱	۲-۲ خط نواری تزویج شده.....
۱۰۲	۲-۲-۱ خط نواری با تزویج برودساید.....

مسائل حل شده	۱۰۶
مسائل حل نشده	۱۰۸
مراجع	۱۰۹

فصل ۳

وابستگی فرکانسی ضریب دی الکتریک و امپدانس مشخصه در خطوط ریزنوار

مقدمه	۱۱۱
۱-۳ پاشندگی در خطوط ریزنوار	۱۱۱
۱-۱-۳ روابط تقریبی برای برآورد پاشندگی در خطوط ریزنوار	۱۱۴
۲-۱-۳ معادلات موجود برای بیان اثر پاشندگی در خطوط ریزنوار	۱۱۵
۱-۲-۱-۳ روش جتسینگر	۱۱۵
۲-۲-۱-۳ روش Owens و Edwards	۱۱۸
۳-۲-۱-۳ روش Schneider	۱۱۹
۳-۳ نقش مهم فرکانس اینجا در خاصیت پاشندگی خطوط ریزنوار	۱۲۱
۱-۳-۳ نظریه Kirschning و Jansen	۱۲۵
۲-۳-۳ روش Yamashita	۱۲۶
۳-۳-۳ روش Koboyashi	۱۲۶
۴-۳-۳ نظریه Jensen و Hammerstad	۱۲۸
۵-۳-۳ نظریه Bhartia و Pramanick	۱۲۹
۶-۳-۳ مقایسه نظریه‌های آورده شده	۱۲۹
۴-۳ وابستگی ضریب دی الکتریک به ضخامت هادی	۱۳۱
۵-۳ وابستگی بهای خط ریزنوار به فرکانس	۱۳۲
۶-۳ وابستگی فرکانسی امپدانس مشخصه در مدارات ریزنوار	۱۳۳
۱-۶-۳ وابستگی امپدانس مشخصه به فرکانس با استفاده از تئوری مدل موجبری هم صفحه	۱۳۳
۲-۶-۳ وابستگی امپدانس مشخصه به فرکانس به کمک برازش منحنی	۱۳۵
۷-۳ بررسی پاسخ فرکانسی امپدانس خطوط ریزنوار تزویج - موازی	۱۳۶
۱-۷-۳ نظریه کرشینگ	۱۳۶
مسائل حل شده	۱۴۳
مسائل حل نشده	۱۴۳
مراجع	۱۴۴

فصل ۴

تضعیف در خطوط ریزنوار، خط نواری و موجبر هم صفحه

مقدمه	۱۴۵
۱-۴ انواع تضعیف در خطوط انتقال هم صفحه	۱۴۵
۱-۱-۴ تضعیف هادی در خطوط ریزنوار	۱۴۶
۱-۱-۱-۴ محاسبه افت هادی در خطوط ریزنوار با استفاده از عمق نفوذ	۱۴۶
۲-۱-۱-۴ محاسبه افت هادی در خطوط ریزنوار با استفاده از فاکتور Q	۱۴۷

۱۴۸	۳-۱-۱-۴ محاسبه افت هادی در ریزنوار با استفاده از روش اختلال
۱۴۹	۴-۱-۱-۴ محاسبه افت هادی با استفاده از قانون اندوکتانس افزایشی ویلر
۱۵۲	۵-۱-۱-۴ محاسبه مقاومت سطحی برای خطوط ریزنوار
۱۵۷	۶-۱-۱-۴ تلفات عایق (دی الکتریک) در خط ریزنوار
۱۶۰	۷-۱-۱-۴ افت تشعشی در خطوط ریزنوار
۱۶۱	۸-۱-۱-۴ انتشار امواج سطحی
۱۶۱	۱-۸-۱-۴ تکنیکهای ممکن برای کاهش امواج تشعشع
۱۶۲	۹-۱-۱-۴ تضعیف در خطوط ریزنوار تزویج شده با استفاده از قانون ویلر
۱۶۳	۲-۱-۴ تضعیف در خطوط نواری
۱۶۳	۱-۲-۱-۴ تلفات عایق (دی الکتریک) در خط نواری
۱۶۴	۳-۱-۴ تضعیف در خطوط موجبر هم صفحه
۱۶۵	۱-۳-۱-۴ تلفات عایق (دی الکتریک) در خطوط موجبر هم صفحه
۱۶۵	مسائل حل شده
۱۶۹	مسائل حل نشده
۱۶۹	مراجع

فصل ۵

مدل سازی ناپیوستگی در مدارات ریزنوار

۱۷۱	مقدمه
۱۷۲	۱-۵ ناپیوستگی های مهم
۱۷۳	۱-۱-۵ خط ریزنوار مدار باز
۱۷۵	۱-۱-۵ طول اضافی معادل اثر انتهایی
۱۷۶	۱-۱-۵ حد بالای l_{eq}
۱۷۷	۱-۱-۵ شبیه سازی خطوط ریزنوار مدار باز
۱۸۲	۲-۱-۵ شکاف
۱۸۴	۱-۲-۱-۵ شبیه سازی شکاف سری
۱۸۴	۳-۱-۵ مدارات اتصال کوتاه ریزنوار
۱۸۶	۱-۳-۱-۵ شبیه سازی خط اتصال کوتاه ریزنوار
۱۸۶	۱-۵ خم ۹۰ درجه یا گوشه
۱۹۰	۱-۴-۹-۵ شبیه سازی خم ۹۰ درجه
۱۹۰	۵-۴-۱-۲ خم های تطبیق یافته (تکنیک های جبران سازی)
۱۹۲	۵-۴-۱-۲ شبیه سازی خم های تطبیق یافته (تکنیک های جبران سازی)
۱۹۴	۵-۱-۵ تغییرات پله ای در پهنای خطوط ریزنوار
۱۹۴	۱-۵-۱-۵ پله ریزنواری متقارن
۱۹۶	۲-۵-۱-۵ شبیه سازی پله متقارن
۱۹۶	۶-۱-۵ شکاف باریک عرضی
۱۹۸	۷-۱-۵ اتصال تی
۲۰۰	۵-۷-۱-۱ شبیه سازی اتصال تی
۲۰۲	۵-۱-۸ اتصال صلیبی

۲۰۳	 ۱-۸-۱-۱ شیب‌سازی پیوند صلیبی
۲۰۴	 ۲-۵ اثرات وابسته به فرکانس ناپیوستگی
۲۰۵	 ۳-۵ توصیه‌هایی مهم برای محاسبه پارامترهای ناپیوستگی
۲۰۵	 ۱-۳-۵ ناپیوستگی به صورت مدار باز
۲۰۵	 ۲-۳-۵ شکاف‌های سری
۲۰۶	 ۳-۳-۵ اتصال کوتاه
۲۰۶	 ۴-۳-۵ گوشه‌های با زاویه ۹۰ درجه
۲۰۷	 ۵-۳-۵ ناپیوستگی به صورت پله در پهنای خط
۲۰۷	 ۶-۳-۵ شکاف عرضی
۲۰۸	 ۷-۳-۵ اتصال تی
۲۰۹	 ۸-۳-۵ اتصال تی صلیبی
۲۱۰	 مسائل حل شده
۲۱۵	 مسائل حل نشده
۲۲۷	 مراجع

فصل ۶

تقسیم کننده‌های توان

۲۱۹	 مقدمه
۲۱۹	 ۱-۶ تقسیم کننده‌های توان T
۲۲۲	 ۲-۶ تقسیم کننده‌های مقاومتی
۲۲۴	 ۳-۶ تقسیم کننده توان ویلکینسون
۲۲۴	 ۱-۳-۶ آنالیز تقسیم کننده توان ویلکینسون با استفاده از تکنیک فرد یا زوج
۲۲۵	 ۱-۱-۳-۶ تحلیل با استفاده از مد زوج
۲۲۷	 ۲-۱-۳-۶ تحلیل با استفاده از مد فرد
۲۲۹	 ۲-۳-۶ تقسیم کننده توان N دهانه‌ای ویلکینسون با توان‌های خروجی غیر مساوی
۲۳۸	 ۴-۶ کوپلرهای چند حفره‌ای موجبری
۲۳۹	 ۱-۴-۶ کوپلرهای چند حفره‌ای با پاسخ نیوتن
۲۴۰	 ۲-۴-۶ کوپلر چند حفره‌ای با پاسخ چبی شف
۲۴۲	 ۵-۶ کوپلرهای هایبرید
۲۴۳	 ۱-۵-۶ محاسبه ماتریس ABCD یک خط انتقال مدار باز
۲۴۵	 ۲-۵-۶ محاسبه ماتریس ABCD یک خط انتقال اتصال کوتاه
۲۴۶	 ۳-۵-۶ ماتریس ABCD یک خط انتقال $\frac{1}{4}$ با امپدانس مشخصه Z_0
۲۴۶	 ۴-۵-۶ تحلیل کوپلر هایبرید
۲۴۶	 ۱-۴-۵-۶ پارامترهای ABCD کوپلر هایبرید در مد زوج
۲۴۸	 ۲-۴-۵-۶ پارامترهای ABCD کوپلر هایبرید در مد فرد
۲۵۲	 ۵-۵-۶ شیب‌سازی کوپلر هایبرید
۲۵۲	 ۶-۶ معادلات کمکی در طراحی خطوط انتقال موازی ترویج شده
۲۵۷	 ۷-۶ کوپلرهای ترویج موازی

۲۵۸	۸-۶ کوپلر متوالی
۲۶۰	۹-۶ کوپلر لنج
۲۶۶	۱۰-۶ کوپلر ۱۸۰ درجه
۲۶۸	مسائل حل شده
۲۷۲	مسائل حل نشده
۲۷۲	مراجع

فصل ۷

فیلترهای مایکروویو

۲۷۵	مقدمه
۲۷۶	۱-۷ تقسیم بندی فیلترها
۲۷۶	۱-۷-۱ تقسیم بندی بر اساس اپولوژی فیلتر و نحوه آرایش عناصر آن
۲۷۶	۱-۷-۲ تقسیم بندی بر اساس منبع انرژی
۲۷۷	۱-۷-۳ تقسیم بندی فیلترها بر اساس پاسخ فرکانسی
۲۷۷	۱-۷-۴ تقسیم بندی فیلترها بر اساس روش ساخت
۲۷۹	۱-۷-۵ تقسیم بندی فیلترها بر مبنای عناصر مدار
۲۷۹	۲-۷ روش های طراحی فیلتر
۲۷۹	۱-۲-۷ طراحی فیلتر به روش افت عبوری
۲۸۰	۳-۷ پاسخ فرکانسی فیلترها
۲۸۰	۱-۳-۷ پاسخ فرکانسی فیلتر باترورث
۲۸۱	۲-۳-۷ پاسخ فرکانسی چبی شف
۲۸۱	۳-۳-۷ طراحی فیلتر پایین گذر
۲۸۴	۴-۳-۷ تبدیل فیلتر پایین گذر به فیلترهای بالا گذر، میان گذر و میان نگذر
۲۸۵	۱-۴-۳-۷ تبدیل فیلتر پایین گذر به بالا گذر
۲۸۶	۲-۴-۳-۷ تبدیل فیلتر پایین گذر به میان گذر
۲۸۷	۴-۷ فیلترهای باند باریک مایکروویو
۲۸۷	۵-۷ فیلترهای باند وسیع مایکروویو
۲۸۸	۱-۵-۷ فیلترهای باند وسیع با استابهای ربع - طول موج
۲۸۸	۲-۵-۷ تبدیل ریچارد و کورودا (خطوط $\frac{\lambda}{8}$)
۲۹۷	۳-۵-۷ مدل های ادمیتانس و امپدانس
۲۹۹	۴-۵-۷ فیلتر پایین گذر با استفاده از مدارات توزیعی
۳۰۲	۵-۵-۷ فیلترهای تزویج شده
۳۰۷	۱-۵-۵-۷ طراحی فیلترهای میان گذر تزویج شده با استفاده از مدل های ادمیتانس
۳۱۴	۶-۵-۷ فیلترهای میان گذر و میان نگذر
۳۱۶	۱-۶-۵-۷ فیلترهای میان گذر با استفاده از تشدید کننده های خازنی
۳۱۸	مسائل حل شده
۳۲۹	مسائل حل نشده
۳۳۱	مراجع

فصل ۸

تغییر دهنده‌های فاز

۳۳۳	مقدمه
۳۳۴	۸-۱ انواع تغییر دهنده فاز
۳۳۵	۸-۱-۱ تغییر دهنده فاز آنالوگ
۳۳۵	۸-۱-۲ تغییر دهنده فاز دیجیتال
۳۳۵	۸-۲ تغییر دهنده فاز چندبیتی
۳۳۶	۸-۳ تغییر دهنده‌های فاز سوئیچ خطوط
۳۴۰	۸-۴ تغییر دهنده فاز خط بار شده
۳۴۴	۸-۵ تغییر دهنده‌های فاز شبکه سوئیچ شده
۳۴۷	۸-۶ تغییر فاز دهنده‌های انعکاسی
۳۵۱	۸-۷ تغییر دهنده فاز شیفت
۳۵۵	۸-۷-۱ تغییر دهنده فاز شیفت ساده
۳۵۷	۸-۷-۲ تغییر دهنده فاز شیفت دوبل
۳۵۹	۸-۷-۳ تغییر دهنده فاز شیفت موازی
۳۶۱	۸-۷-۴ طراحی تغییر دهنده فاز شیفت ساده
۳۶۵	۸-۸ طراحی مدارات کنترلی
۳۶۶	۸-۸-۱ دیود پین
۳۶۷	۸-۸-۱-۱ طراحی خطوط انتقال
۳۶۹	۸-۸-۲ سوئیچ SPST
۳۶۹	۸-۸-۲-۱ سوئیچ SPST سری
۳۷۲	۸-۸-۲-۲ سوئیچ SPST موازی
۳۷۳	۸-۸-۳ سوئیچ SPDT
۳۷۵	مراجع
۳۷۷	پیوست ۱
۳۸۷	پیوست ۲
۳۸۹	پیوست ۳
۳۹۱	پیوست ۴
۳۹۳	پیوست ۵
۳۹۵	پیوست ۶
۴۰۵	فهرست راهنما
۴۰۷	واژه نامه